

電磁気の演習問題 [1] 解答

(1)

$$E = RI(t) + V(t) \quad \textcircled{1}$$

$$(2) \quad I(0) = \frac{E - V(0)}{R}$$

$$\because Q(0) = C_A V(0) = 0 \\ \therefore V(0) = 0$$

$$\therefore I(0) = \frac{E}{R} \quad \textcircled{2}$$

$$(3) \quad I(\infty) \rightarrow 0 \quad \because E = RI(\infty) + V(\infty) \quad \textcircled{3} \\ V(\infty) = E \quad \textcircled{4}$$

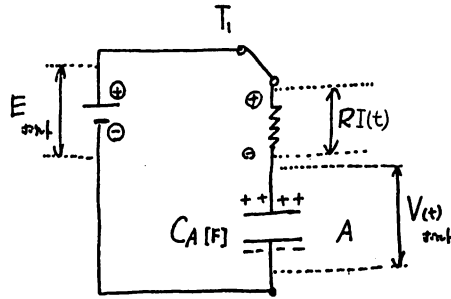
$$(4) \quad Q(\infty) = C_A V(\infty) = C_A E \quad \textcircled{5}$$

$$(5) \quad \boxed{\text{仕事 } W = qV} \quad \text{公式!}$$

$$W_E = Q(\infty)E = C_A E \times E = C_A E^2 \quad \textcircled{6}$$

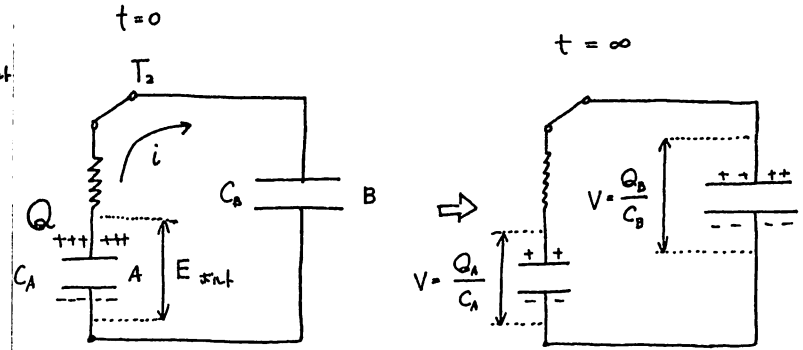
$$(6) \quad \boxed{\text{静電エネルギー } U = \frac{1}{2} qV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}} \quad \text{公式!}$$

$$U_A = \frac{1}{2} C_A E^2 \quad \textcircled{7}$$



$$(7) \quad W_E = W_1 + U_A$$

$$\therefore W_1 = W_E - U_A = C_A E^2 - \frac{1}{2} C_A E^2 = \frac{1}{2} C_A E^2 \quad \textcircled{8}$$



(8) 上図で

$$Q = C_A E \quad \textcircled{9}$$

$$Q_A + Q_B = Q \quad \textcircled{10}$$

$t = \infty$  のときの コーデンサ A, B は 並列  $\Rightarrow$  合成容量  $C' = C_A + C_B$   
A, B の 極板間電圧 V

$$Q_A + Q_B = C' V = (C_A + C_B) V \quad \textcircled{11}$$

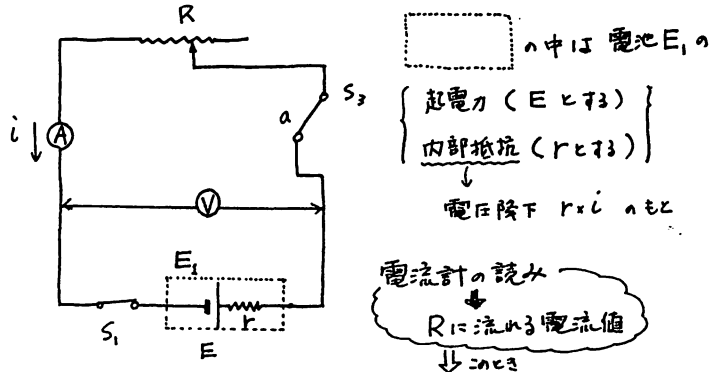
$$\textcircled{9}, \textcircled{10}, \textcircled{11} \text{ より } (C_A + C_B) V = C_A E \quad \therefore V = \frac{C_A}{C_A + C_B} E \quad \textcircled{12}$$

$$(9) \quad U = \frac{1}{2} C' V^2 = \frac{1}{2} (C_A + C_B) \left( \frac{C_A}{C_A + C_B} E \right)^2 = \frac{C_A^2 E^2}{2(C_A + C_B)} \quad \textcircled{13}$$

$$(10) \quad W_2 = U_A - U = \frac{1}{2} C_A E^2 - \frac{C_A^2 E^2}{2(C_A + C_B)} = \frac{C_A C_B E^2}{2(C_A + C_B)} \quad \textcircled{14}$$

$$(11) \quad W_E = U + W_1 + W_2$$

- ② (1)  $S_1$  を閉じ、 $S_2$  を開き、 $S_3$  を  $a$  に接続したときの回路の様子



$R$  について  
オームの法則を適用して

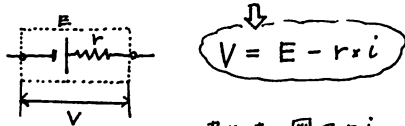
$$R = \frac{4.2}{0.6} = 7.0$$

答 7.0 Ω

電圧計の読み  
(図3より 4.2 V のはず)  
↓  
 $R$  の両端の電位差

- (2) 電圧計の読みは、また、

電池  $E_1$  の端子電圧も示している!



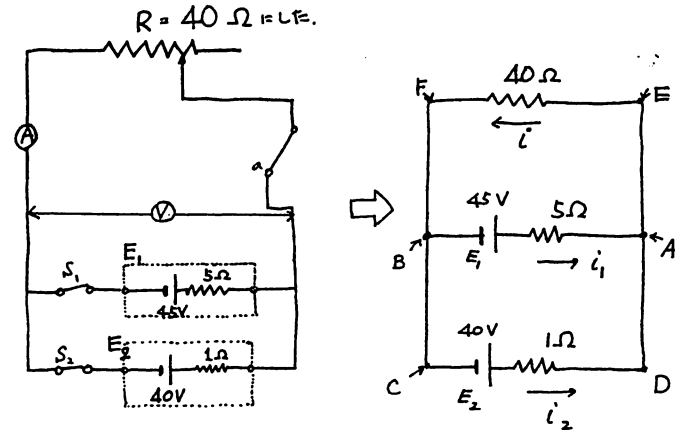
あるいは図3から  
 $V$  と  $i$  をよみて

(例えば)

$$\begin{cases} 4.4 = E - r \times 0.2 \\ 4.0 = E - r \times 1.0 \end{cases}$$

これを解いて  $\Rightarrow$  起電力 4.5 V  
内部抵抗 5 Ω

- (3)  $S_1$  と  $S_2$  を閉じ、 $S_3$  を  $a$  に接続したときの回路の様子



単純化して、角や分岐点に  $A, B, \dots, F$  の地名をつけてみる。右上回。

各部を流れる電流を図に示したように考え、

↓  
キルヒホッフの法則より

↓

$i$  を求める

関係を書いてみる

$$i = i_1 + i_2 \quad \text{--- ①}$$

$$\begin{aligned} & (A \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow B \rightarrow A) \\ -40i + 45 - 5i_1 &= 0 \quad \text{--- ②} \end{aligned}$$

$$(C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow C)$$

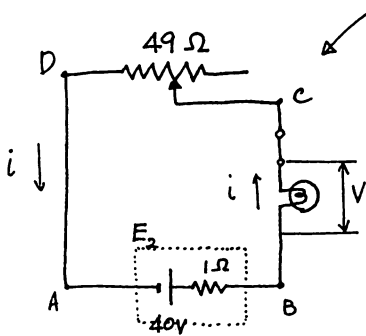
$$40 - 1i_2 - 40i = 0 \quad \text{--- ③}$$

これから  $i_1, i_2$  を消去して

$$i = 1$$

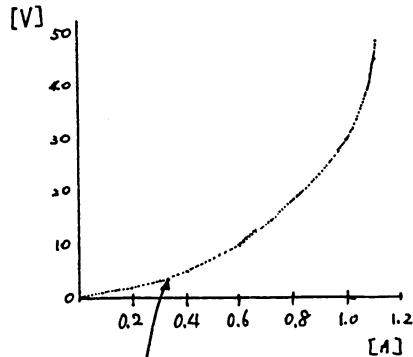
答 1 A

- ② (4)  $S_1$  を開き,  $S_2$  を閉じ,  $S_3$  を  $b$  に接続したときの回路を簡略化してかくと.



{ 回路を流れる電流を  $i$ ,  
電球の両端の電位差を  $V$  } とする.

$i$  と  $V$  は 図2の曲線の関係!



7割, これらの点の点のうす  
 $V = 40 - 50i$  にあてはまる  
点を見つけたらよい

ここで  
 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$   
という順にまわって  
キルヒホッフの法則  
を使ってみると.

$$40 - 1 \times i - V - 49 \times i = 0$$

$$V = 40 - 50i$$

[V切片 40, i切片 0.8] の直線  $\rightarrow$  図2に書きこむ

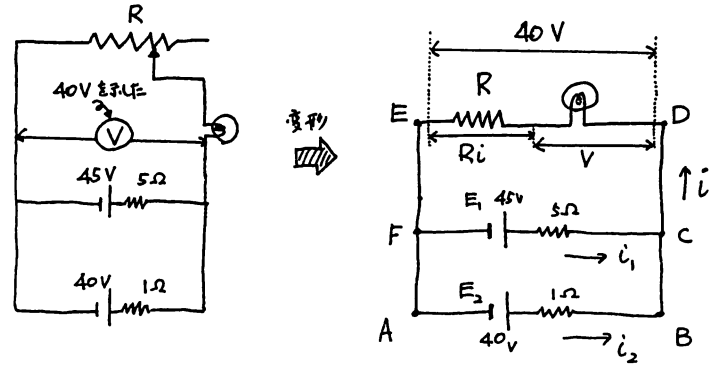
$$W = P \cdot t = IV \cdot t$$

$$W = 0.6 \times 10 \times 6 = 36$$

{  $i = 0.6$  [A] } とわかる?  
{  $V = 10$  [V] }

$$\frac{7}{6} \text{ 答 } 36 \text{ J}$$

- (5)  $S_1$  と  $S_2$  を閉じ,  $S_3$  を  $b$  に接続したときの回路のようす.



右上図のように, 電球にかかる電圧を  $V$ ,  
各部分を流れる電流を  $i$ ,  $i_1$ ,  $i_2$  (図の向きを正) とすると.

$$V = 40 - Ri \quad \dots \textcircled{1} \quad \text{わかる。}$$

また, 閉回路  $A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow A$  について  
キルヒホッフの法則を適用すると.

$$40 - 1 \times i_2 - 40 = 0 \Rightarrow i_2 = 0 \quad \dots \textcircled{2}$$

$$\text{また, } i = i_1 + i_2 \quad \dots \textcircled{3}$$

そして, さらに閉回路  $F \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$  をみる.

$$45 - 5i_1 - 40 = 0 \quad \dots \textcircled{4}$$

$$\textcircled{4} \text{ より } i_1 = 1 \quad \text{これ } \textcircled{2}, \textcircled{3} \text{ より } i = i_1 = 1$$

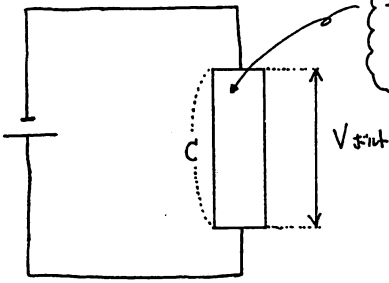
図2より 電流が 1.0A  $\Rightarrow$   $V$  は 30V

$$\therefore Ri = R \times 1 = 40 - 30$$

$$R = 10 \quad \text{答 } 10 \Omega$$

③

$$E = \frac{V}{d} = \frac{F}{q}$$



一樣な電界  
 $\frac{V}{C}$  [V/m]

電荷  $-e$  の電子に及ぼす  
 力のおおきさは  
 $(F = qE)$  より  
 $F = eE = e \cdot \frac{V}{C}$  ...①

加速度を  $a$  とおけば  
 $F = ma$  より、①より

$$a = \frac{eV}{mC} \quad \leftarrow ma = e \cdot \frac{V}{C}$$



$v = v_0 + at$  より  
 $v = 0 + \frac{eV}{mC} T_0$

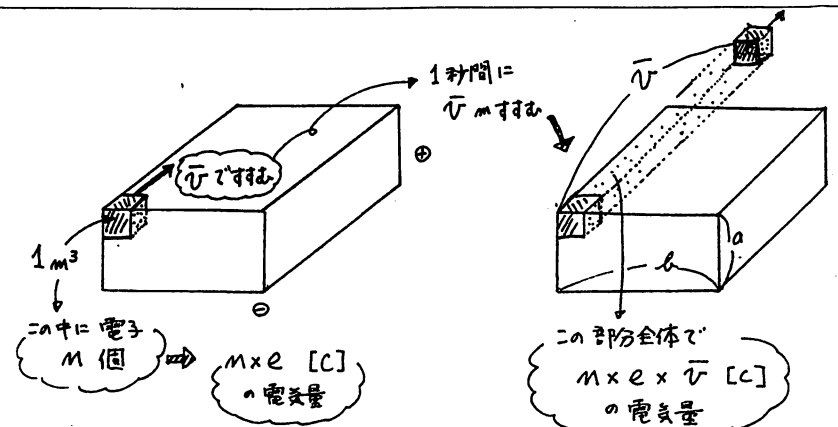
$t=0$  から  $t=T_0$  までの平均の速さは  $\frac{v_0 + v}{2}$   
 $\therefore \frac{eVT_0}{2mC}$  ...②

金属全体で電子は

$(a \times b \times C) \times n$  個ある。1個の運動エネルギーは  $\frac{1}{2}mv^2$

これは  $T_0$  秒間の値だから

単位時間あたりでは  
 $\frac{\frac{1}{2}mv^2 \times a \times b \times C \times n}{T_0} = \frac{\frac{1}{2}m \left(\frac{eVT_0}{mC}\right)^2 \times a \times b \times C \times n}{T_0} = \frac{e^2 V^2 a b n T_0}{2mC}$  ...③



1秒間 =  $\bar{v}$  m 進む  
 $1m^3$  の中に電子  $M$  個  $\Rightarrow M \times e$  [C] の電流量

この部分全体で  $M \times e \times \bar{v}$  [C] の電流量

金属の断面積は  $a \times b$  [cm<sup>2</sup>] だから

単位時間(1秒)に運ぶ

電荷の総量は  $abme\bar{v} = abme \times \frac{eVT_0}{2mC}$

$\left(\frac{dQ}{dt}\right) = \frac{abme^2VT_0}{2mC}$  ...④

これは電流 I

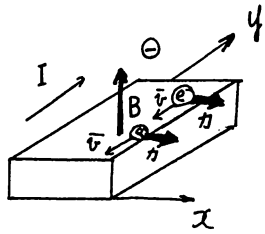
↓ V および電圧 E かけられたから

$R = \frac{V}{I} = V \times \frac{2mC}{abme^2VT_0} = \frac{2mC}{abme^2T_0}$  ...⑤

金属の抵抗にか?

⑤からいえるとは?

③



$f = qvB$

電子は x 軸の正の向きに  
大きさは  $e\bar{v}B$  の力を受ける

新たに電界  $E'$  が発生し、電子に力を  
およぼしているとも  
考えられるので

$f = eE'$   
 $E' = \frac{V_x}{l}$

$e \cdot \frac{V_x}{l} = e\bar{v}B \quad \therefore V_x = \bar{v}Bl$  ⑦

⑧は ⑦より

$\bar{v} = \frac{V_x}{Bl} \rightarrow \therefore T_0 = \frac{2mC V_x}{eVBl}$

⑨より  $\bar{v} = \frac{eVT_0}{2mc}$

⑧

④から

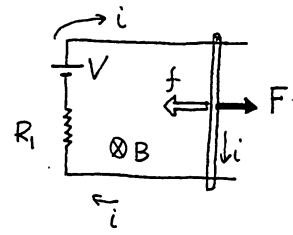
$\frac{dQ}{dt} = I = a l m e \bar{v} \rightarrow \therefore I = a l m e \frac{V_x}{Bl}$

⑦より  $\bar{v} = \frac{V_x}{Bl}$

$\therefore m = \frac{IB}{ae V_x}$  ⑨

④

(1) 電池の正負を下图のようにすると、図に示した方向に力のつりあいが考えられる

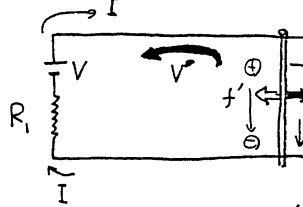


電流 i の磁界から受ける力 F  
最大静止する力 f

$f = \mu Mg$      $F = iBl$   
 $i = \frac{V}{R_1}$      $\Rightarrow F = \frac{V}{R_1} Bl$

$\therefore \mu Mg = \frac{V}{R_1} Bl$   
 $\therefore R_1 = \frac{VBl}{\mu Mg}$  ← (1) の答 (16)

(2)



等速心で運動しているときの  
電流と I とおぼす。

I の磁界から受ける力 F'  
動かさず力 f'

$f' = \frac{\mu}{5} Mg$      $F' = IBl$      $\therefore IBl = \frac{\mu}{5} Mg$

$\therefore I = \frac{\mu Mg}{5Bl}$  ← (2) の答 (19)

速度 v で動く単体の

磁力線切り  
↓  
磁束  $\Phi$  が減る  
↓  
誘起起電力  $V' = -\frac{d\Phi}{dt}$

$\Phi = BS \cos \theta$

速くはかり

$\frac{d\Phi}{dt} = B \cdot \frac{dS}{dt} = B \cdot \frac{d}{dt}(l \cdot x) = Bl \frac{dx}{dt}$

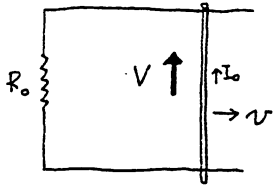
$\frac{dx}{dt} = v \text{ である。}$

$\frac{d\Phi}{dt} = B \cdot l \cdot v \quad \therefore V' = -Blv$

全体の起電力  $V + (-V') = IR_1 + Blv \Rightarrow v = \frac{V - R_1 I}{Bl} = \frac{4V}{5Bl}$

(1) の答 (12)

(3) スイッチ E を切換えた直後、導体棒は速度  $v$  で動いている。

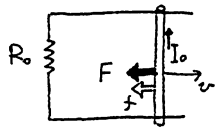


↓  
誘導起電力  $V$  が発生

$$V = Blv$$

↓  
電流  $I_0$  が発生

$$I_0 = \frac{V}{R_0} = \frac{Blv}{R_0}$$



$I_0$  の磁界から力  $F$  が作用する  
 $F = I_0 Bl$   
動摩擦力  $f$  の向きは  $\leftarrow$   
 $f = \frac{\mu}{5} Mg$   
向きに注意!!

合力  $F$   
 $F = -\frac{\mu Mg}{5} + I_0 Bl$

よって 導体棒は 止まる

↓  
エネルギー保存

$$\frac{1}{2} M v^2 = W + Mg \cdot \frac{\mu}{5} L$$

$$W = \frac{1}{2} M v^2 - \frac{\mu Mg L}{5}$$

$$= \frac{M}{2} \left( \frac{4V}{5Bl} \right)^2 - \frac{\mu Mg L}{5}$$

$$= \frac{8 M V^2}{25 B^2 l^2} - \frac{\mu Mg L}{5}$$

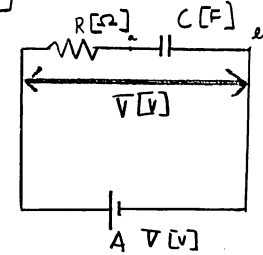
(1) の答  
(24)

(1) の答 (12)

$$\begin{aligned} F &= -\frac{\mu Mg}{5} - I_0 Bl \\ &= -\frac{\mu Mg}{5} - \frac{Blv}{R_0} \times Bl \\ &= -\frac{\mu Mg}{5} - \frac{B^2 l^2}{R_0} v \\ &= -\frac{\mu Mg}{5} - \frac{B^2 l^2}{R_0} \times \frac{4V}{5Bl} \\ &= -\frac{\mu Mg}{5} - \frac{4 B l V}{5 R_0} \end{aligned}$$

(I) の答 (29)

[5]



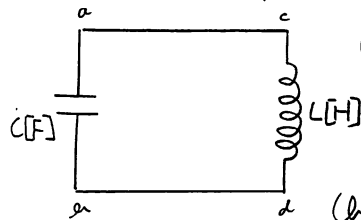
(1) (a) 電圧は  $V$  とおきのぞ

$$Q = CV \quad (\text{答})$$

(b) 電圧  $V$  で電荷  $Q$  を送り出すので

$$W = QV = CV^2 \quad (\text{答})$$

(注) コンデンサーに蓄えらるる静電エネルギー  $\frac{1}{2} CV^2$  はない



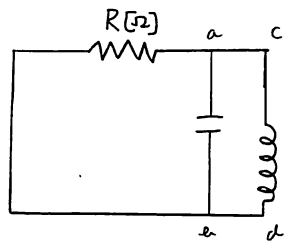
(2) (a)  $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  から  $\omega = 2\pi f$  より

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (\text{答})$$

(b) 振動周期  $T$  の  $\frac{1}{4}$  の時間で初めて 0

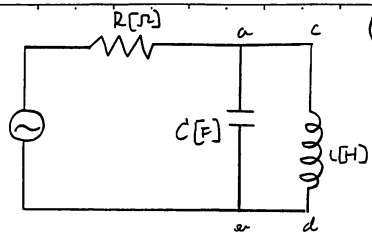
となるから、 $T = 2\pi\sqrt{LC}$  より

$$\therefore \frac{\pi}{2}\sqrt{LC} \quad (\text{答})$$



(3) 最初にコンデンサーに蓄えらるる  
いた静電エネルギーの分だけ消  
費されるから

$$\frac{1}{2} CV^2 \quad (\text{答})$$



(4) コンデンサーについては、a側極板

の電荷 Q は

$$Q = CV_0 \cos \omega t$$

コンデンサーでは電荷 Q の時間変化が電流になるから

$$I_1 \cos(\omega t + \alpha) = \frac{dQ}{dt} = -C\omega V_0 \sin \omega t = C\omega V_0 \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

コイルについては誘導起電力

$$L \frac{d}{dt} \{I_2 \cos(\omega t + \beta)\} = -L\omega I_2 \sin(\omega t + \beta)$$

が c d の電位差

$$V_0 \cos \omega t = -V_0 \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

に等しいから

$$\left. \begin{aligned} (a) I_1 &= C\omega V_0 & (b) I_2 &= \frac{V_0}{L\omega} \\ (c) \alpha &= \frac{\pi}{2}, \beta &= -\frac{\pi}{2} \end{aligned} \right\} \text{(答)}$$

(d) 抵抗に流れる電流が 0 になるから

$$I_1 \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) + I_2 \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = 0$$

$$\therefore I_1 = I_2, \quad \therefore \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ (答)}$$

電磁気の演習問題 — 6 — の解答

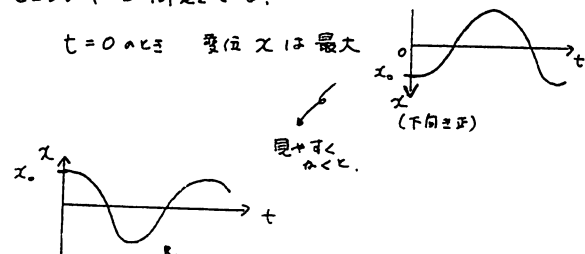
⑥ (1) 「大まか、こまかに」  $\frac{b}{a} |x|$

(2)  $ma = -kx$  ばり  
 $a = -\frac{k}{m}x \dots \textcircled{1}$   $-\frac{k}{m}x$

(3) 単振動の式 (一般的には)  
 $x = A \sin \omega t$  ばり  
 $a = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 A \sin \omega t = -\omega^2 x \dots \textcircled{2}$

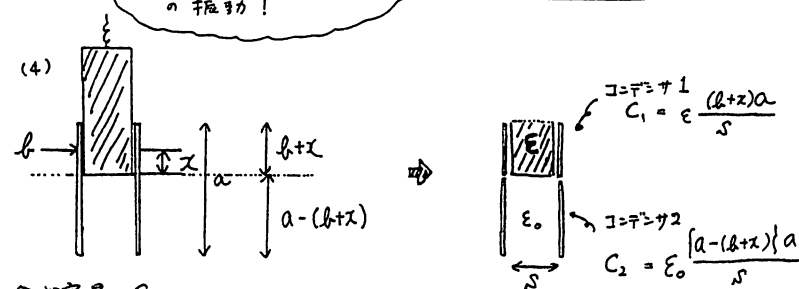
$\textcircled{1} = \textcircled{2}$  とくらへると  $\omega^2 = \frac{k}{m} \quad \therefore \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

と 30%、この問題では、



つまり、  
 あるいは、 $x = A \cos \omega t$   
 の振動!

(3)  $x_0 \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t$



(5) 下板に与えられた電荷  $q = CV = \frac{Va}{s} \{(\epsilon - \epsilon_0)(l+x) + \epsilon_0 a\}$

∴  $x = x_0 \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t$  を代入して

(5)  $\frac{Va}{s} \{(\epsilon - \epsilon_0)(l + x_0 \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t) + \epsilon_0 a\}$

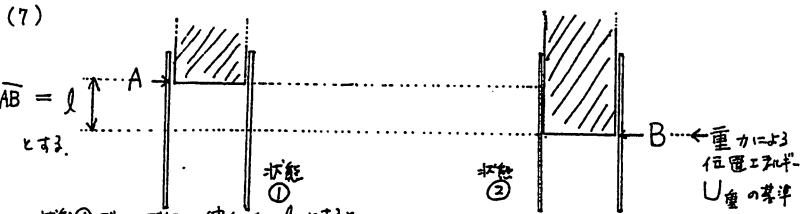
(6) 工利キ- U は  $U = \frac{1}{2} qV \text{ r.s.a.}$

q の最大値のとき U も最大. ∴  $U_{max}$  とす.

↓

$x = x_0$  のとき (5) の結果より q は最大.

$U_{max} = \frac{V^2 a}{2s} \{(\epsilon - \epsilon_0)(l + x_0) + \epsilon_0 a\}$  (6) の r.s.a.



状態①でのばねの伸びを  $l_0$  とす

$kl_0 = mg$  (力のつり合い)

状態①

$U_{重} \dots mg l$

$U_{ばね} \dots \frac{1}{2} k l_0^2$  (下向き为正)

$U_{静電} \dots \frac{V^2 a}{2s} \{(\epsilon - \epsilon_0)(l - l_0) + \epsilon_0 a\}$

状態②

$U_{重} \dots 0$

$U_{ばね} \dots \frac{1}{2} k (l_0 + l)^2$

$U_{静電} \dots \frac{V^2 a}{2s} \{(\epsilon - \epsilon_0)l + \epsilon_0 a\}$

工利キ- 保存式

$mg l + \frac{1}{2} k l_0^2 + \frac{V^2 a}{2s} \{(\epsilon - \epsilon_0)(l - l_0) + \epsilon_0 a\} = \frac{1}{2} k (l_0 + l)^2 + \frac{V^2 a}{2s} \{(\epsilon - \epsilon_0)l + \epsilon_0 a\}$

式を整理して.  $kl_0 = mg$  を代入してまとめると.

$\frac{1}{2} k l^2 = \frac{V^2 a}{2s} (\epsilon - \epsilon_0) l$  ∴  $l = \frac{V^2 a}{s k} (\epsilon - \epsilon_0)$  (7) の r.s.a.

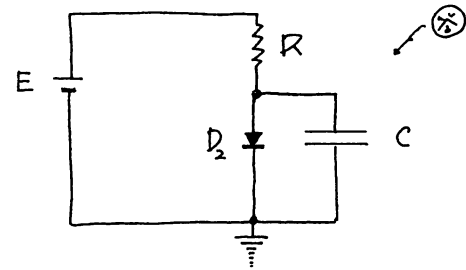
⑦ (1)  $V = aI + b$  とす

$b = 0.5, a = 100 \text{ r.s.a.}$

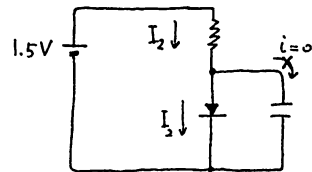
$V = 100I + 0.5 \dots (i)$

(2)  $D_1$  には逆方向の電圧が加わっている.  
電流は流らない.

↓  
 $D_1$  は存在しないこと示す



(3)  $D_2$  の電圧  $V_2$ , 電流  $I_2$  とす.



∴ 端子のばね部分には電流が流らない (十分時間が経過)

↓  
抵抗 R を流れる電流  $I_R = I_2$

↓  
R の電圧降下は  $RI_2 = 100I_2$

電圧降下の式  
 $1.5 - 100I_2 = V_2$

∴  $I_2$  と  $V_2$  の (i) の関係は

あつたから  $V_2 = 100I_2 + 0.5 \dots (i')$

よって  $1.5 - 100I_2 = 100I_2 + 0.5 \Rightarrow I_2 = 5.0 \times 10^{-3} \text{ [A]}$



(4) ①  $D_1, D_2$  は並列.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{電圧を } V [\text{V}] \\ \text{電流を } I [\text{A}] \text{ (同じ特性曲線)} \end{array} \right\} \text{ 可視. } 100 \times 2I + V = 1.5 \quad \dots (ii)$$

(i) (ii) から  $I = \frac{1.0}{300}$      $V = 100 \times \frac{1.0}{300} + 0.5 = \underline{0.83} \text{ [V]} \quad \textcircled{1}$

② (3) から  $I_2 = 5 \times 10^{-3} \text{ [A]}$      $\therefore V_2 = 100 \times 5.0 \times 10^{-3} + 0.5 = \underline{1.0} \text{ [V]} \quad \textcircled{2}$

③ ② = 等しい...  $V_3 = \underline{1.0} \text{ [V]} \quad \textcircled{3}$

④ 回路に電流が流れるから  $V_4 = \underline{1.5} \text{ [V]} \quad \textcircled{4}$

(5)  $Q_1 = \frac{W_{\text{熱}}}{t} = P = IV = I \cdot IR = I^2 R = \left(\frac{1.0}{300} \times 2\right)^2 \times 100 = \underline{4.4 \times 10^{-3} \text{ [J]}} \quad \textcircled{5}$

↑ 電力  
↑ 消費エネルギー (1秒あたり)  
↑ 熱

$Q_4 = \underline{0} \text{ [J]} \quad \textcircled{6}$

(6)  $q_2 = CV_2 = \underline{4.0 \times 10^{-6} \text{ [C]}} \quad \textcircled{7}$

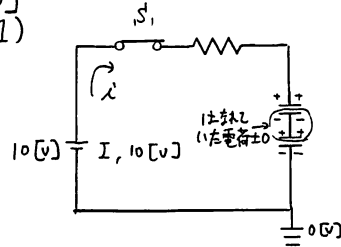
$q_4 = CV_4 = \underline{6.0 \times 10^{-6} \text{ [C]}} \quad \textcircled{8}$

(7)  $W_1 = \frac{1}{2} CV_4^2 - \frac{1}{2} CV_2^2 = \frac{1}{2} C (V_4^2 - V_2^2) = \underline{2.5 \times 10^{-6} \text{ [J]}} \quad \textcircled{9}$

$W_2$  は  $W_1$  と 生じた熱の和

$$\begin{array}{c} \downarrow \\ W_2 > W_1 \\ \downarrow \\ \text{答 } \textcircled{1} \end{array}$$

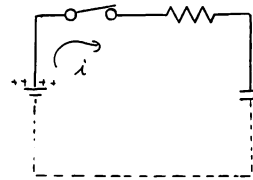
8  
(1)



$S_1$  を閉じた直後  
まだ電流が流れてない。⇒ R の電圧降下はない。  
電流以外の場所に電荷はない。  
電流以外のどこにも電位差はない。

(答) 0 [V] (1)

このとき、またコンデンサー上に電荷はない。

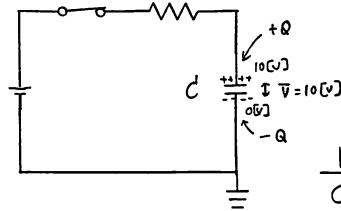


← 2つこの回路の一部と同じ状態!  
(電池に抵抗がみつかなかった閉回路)  
↓  
電流 I はオームの法則より

$$I = \frac{V}{R} \quad \therefore I = \frac{10}{1.0 \times 10^3} = \underline{1.0 \times 10^{-2} \text{ [A]}} \quad \dots (答) \quad \textcircled{2}$$

(2) 十分時間がたつたとき、 $i_{\infty} = 0 \Rightarrow$  抵抗 R による電圧降下  $i \times R = 0$

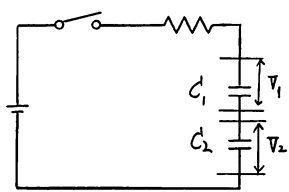
a 点は +10 [V] (3) (答)



$Q = CV$   
コンデンサーの直列接続

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = 0.8 \text{ [\mu F]}$$

よって  $Q = 0.8 \times 10^{-6} \times 10 = 8 \times 10^{-6} \text{ [C]}$



$$Q = C V$$

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= C_1 V_1 \\ Q_2 &= C_2 V_2 \\ V_1 + V_2 &= 10 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} V_1 &= 8 [V] \\ V_2 &= 2 [V] \end{aligned}$$

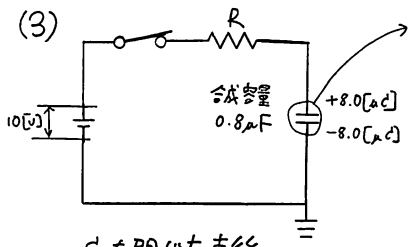
+2 [V] (4) --- (答)

(5), (6)  $8.0 \times 10^{-6} [C]$  --- (答)

$$U_C = \frac{1}{2} q V$$

$$U_{C1} = \frac{1}{2} \times 8 \times 10^{-6} \times 8 = 3.2 \times 10^{-5} [J] \text{ --- (答)}$$

$$U_{C2} = \frac{1}{2} \times 8 \times 10^{-6} \times 2 = 8.0 \times 10^{-6} [J] \text{ --- (答)}$$



たくおえされるエネルギー  $U_0$  は

$$U_0 = U_{C1} + U_{C2}$$

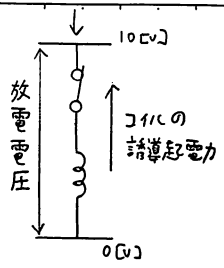
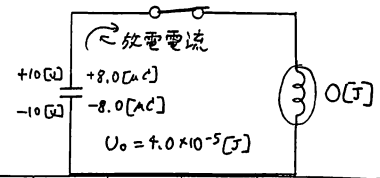
$$= 3.2 \times 10^{-5} + 8.0 \times 10^{-6}$$

$$= 4.0 \times 10^{-5} [J]$$

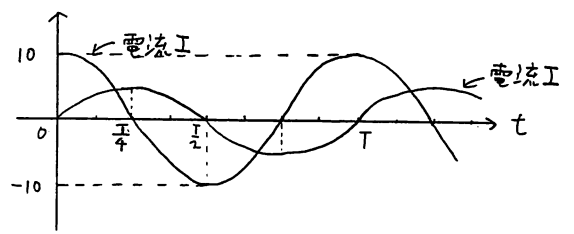
電磁気の【コンデンサ、コイル】

エネルギー消費しない。

抵抗はエネルギー消費! ⇒ ジュール熱



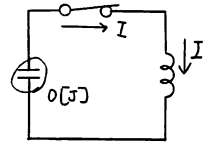
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} [Hz] \Rightarrow \text{周期 } T = \frac{1}{f} = 2\pi\sqrt{LC}$$



$$\frac{T}{4} = \frac{2\pi\sqrt{LC}}{4} = \frac{\pi\sqrt{LC}}{2} = \frac{3.14 \times \sqrt{5.0 \times 10^{-2} \times 0.8 \times 10^{-6}}}{2}$$

$$= 1.57 \times \sqrt{4 \times 10^{-8}} = 1.57 \times 2 \times 10^{-4} \approx 3.1 \times 10^{-4} \text{ --- (答)}$$

Iが最大のとき  $\frac{1}{2} L I^2$  も最大



$$U_L = \frac{1}{2} L I^2 \text{ が最大}$$

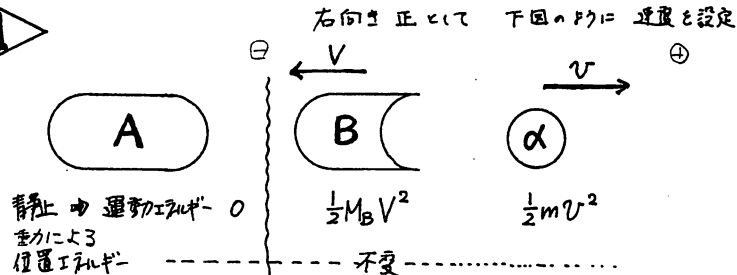
$$\frac{1}{2} L I_{max}^2 = 4.0 \times 10^{-5} [J]$$

$$I_{max} = \sqrt{\frac{2 \times 4.0 \times 10^{-5}}{5.0 \times 10^{-2}}} = \sqrt{1.6 \times 10^{-3}}$$

$$I_{max} = 4.0 \times 10^{-2} [A] \text{ --- (答)}$$

原子物理の演習問題 -1- の解答

①



はじめ 化学的エネルギー 0

分裂後 化学的エネルギー =  $\frac{1}{2}(M_B V^2 + \frac{1}{2}m v^2)$   
(→ Q)

核 A の質量の一部が消失してエネルギーになった ⇒ 質量欠損

$\Delta E = \Delta m c^2$

$\Delta m = (M_A - M_B - m)$   
 $Q = \Delta m c^2$   
(1)  $Q = (M_A - M_B - m) c^2$  (答)

(2) 運動量保存の法則より

$0 = M_B (-V) + m v$   
∴  $V = \frac{m}{M_B} v$  ..... ①

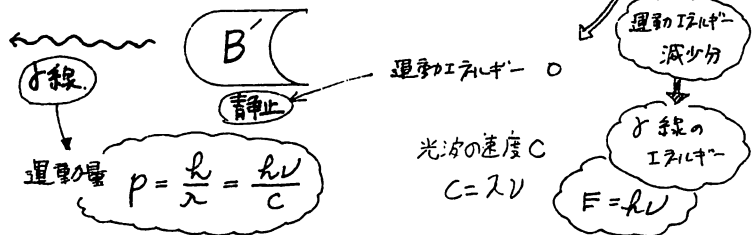
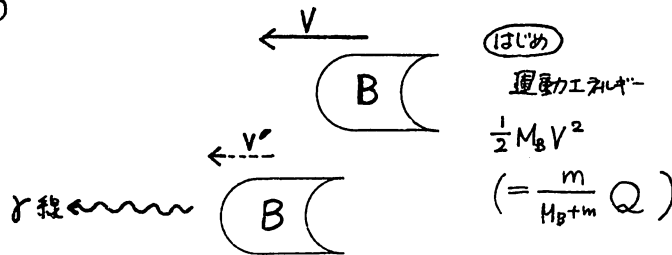
$Q = \frac{1}{2}M_B V^2 + \frac{1}{2}m v^2$  より  
 $\frac{1}{2}m v^2 = Q - \frac{1}{2}M_B V^2$  ..... ②

①を②に代入して

$\frac{1}{2}m v^2 = Q - \frac{1}{2}M_B \left(\frac{m}{M_B} v\right)^2$

↓  
 $\frac{1}{2}m v^2 = \frac{M_B}{M_B + m} Q$  (答)

(3)



運動量保存の式

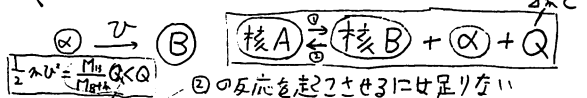
$M_B V = \frac{h\nu}{c} + 0$  ..... ③

また、 $\frac{1}{2}M_B V^2 = \frac{m}{M_B + m} Q$  ..... ④

③より  $M_B V^2 = \frac{2m}{M_B + m} Q$  ..... ④'

→  $h\nu = c \times M_B V$   
 $= c \sqrt{M_B^2 V^2}$   
 $= c \sqrt{M_B \times M_B V^2}$   
↓  
 $h\nu = c \sqrt{\frac{2M_B m}{M_B + m} Q}$  (答)

(4) α粒子の運動エネルギーは増加可能な結合エネルギーには見合わないため Aにはおられない (答) 了



原子物理の演習問題 — 2 — の解答

② (1) 質量欠損を  $\Delta m$  とすると、

$$\Delta m = 2 \times 2.0136 - 3.0160 - 1.0087 \text{ u}$$

$$= 2.5 \times 10^{-3} \text{ u}$$

$$2.5 \times 10^{-3} \text{ u} = 2.5 \times 10^{-3} \times 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$= 4.15 \times 10^{-30} \text{ kg}$$

答  $2.5 \times 10^{-3} \text{ u}$  または  $4.15 \times 10^{-30} \text{ kg}$

(2) 核反応で発生したエネルギー  $\Delta E$  は

$$\Delta E = \Delta m c^2$$

$$= 4.15 \times 10^{-30} \times (3 \times 10^8)^2 = 3.74 \times 10^{-13} \text{ J}$$

答  $3.74 \times 10^{-13} \text{ J}$

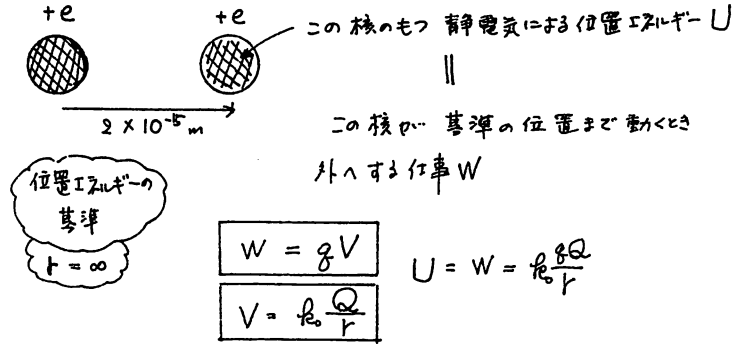
(3) 2個の  ${}^2\text{H}$  で  $\Delta E$  のエネルギーを発生する

↓  
1個の  ${}^2\text{H}$  で  $\frac{\Delta E}{2}$   
↓  
1 kg (⇒  $\frac{1}{2.0136 \times 1.66 \times 10^{-27}}$  個) あたり

$$\frac{1}{2} \times 3.74 \times 10^{-13} \times \frac{1}{2.0136 \times 1.66 \times 10^{-27}} = 5.59 \times 10^{13}$$

答  $5.59 \times 10^{13} \text{ J}$

(4)



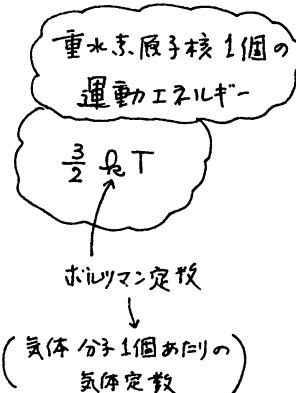
したがって本問では

$$U = 9 \times 10^9 \times \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{2 \times 10^{-5}} = 1.15 \times 10^{-13} \text{ J}$$

答  $1.15 \times 10^{-13} \text{ J}$

(5) 重水素原子核 2個分の運動エネルギーが

(4) とおとめ  $U$  に等しいのはよい。



$$\frac{3}{2} kT \times 2 = U$$

$$\therefore 3kT = U$$

$$\therefore T = \frac{U}{3k} = \frac{1.15 \times 10^{-13}}{3 \times 1.38 \times 10^{-23}}$$

$$= 2.8 \times 10^9$$

答  $2.8 \times 10^9 \text{ K}$

原子物理の演習問題 — 3 — の解答 (4の1)

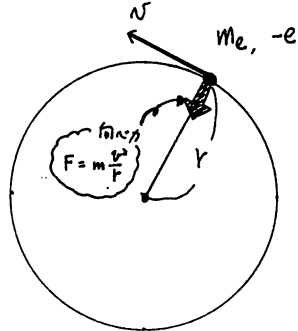
3

(1) は 記述 (ア) まで

(2) (i) 向心力 = クロムソフ力

$$m_e \frac{v^2}{r} = k \frac{e^2}{r^2} \dots \textcircled{1}$$

ア  $\boxed{m_e \frac{v^2}{r}}$



運動エネルギー K

イ  $\boxed{\frac{1}{2} m_e v^2}$

(ウ) について

$$E = K + U = \frac{1}{2} m_e v^2 - k \frac{e^2}{r}$$

①より  $m_e v^2 = k \frac{e^2}{r^2} \cdot r$  であるからこれを代入して

$$E = \frac{1}{2} \frac{k e^2}{r} - k \frac{e^2}{r} = -\frac{k e^2}{2r} \dots \textcircled{2}$$

エ  $\boxed{-\frac{k e^2}{2r}}$

イ フォラン定数

(オ) について

ド・ブロイの式  $\lambda = \frac{h}{mv}$

ここで

$$\lambda = \frac{h}{m_e v} \dots \textcircled{3}$$

オ  $\boxed{\frac{h}{m_e v}}$

(カ) について

$$2\pi r = n\lambda = n \frac{h}{m_e v} \quad \text{と ①から } v \text{ を消去}$$

$$r = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m_e k e^2} \dots \textcircled{4}$$

カ  $\boxed{\frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m_e k e^2}}$

(キ) について

$$E = -\frac{2\pi^2 m_e k^2 e^4}{n^2 h^2} \dots \textcircled{5}$$

キ  $\boxed{-\frac{2\pi^2 m_e k^2 e^4}{n^2 h^2}}$

(ii) (7) について

(光子のエネルギー  $E = h\nu$ )

$$E_m - E_m = h\nu \dots \textcircled{6}$$

7  $\boxed{h\nu}$

(7) について

$$c = \nu \cdot \lambda \quad \nu = \frac{c}{\lambda}$$

これを ⑥ から

$$E_m - E_m = h \frac{c}{\lambda}$$

$$\therefore \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{ch} (E_m - E_m)$$

この  $E_m$  と  $E_m$  は ⑤ の結果を あてはめて

$$= \frac{1}{ch} \left\{ -\frac{2\pi^2 m_e k^2 e^4}{n^2 h^2} + \frac{2\pi^2 m_e k^2 e^4}{m^2 h^2} \right\}$$

$$= \frac{1}{ch} \cdot \frac{2\pi^2 m_e k^2 e^4}{h^2} \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

(1) の式の  $m$  は  $m_e$  である。  $R = \frac{2\pi^2 m_e k^2 e^4}{ch^3}$

7  $\boxed{\frac{2\pi^2 m_e k^2 e^4}{ch^3} \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)}$

(3) (i) ④ と ⑤ の数値代入!!!

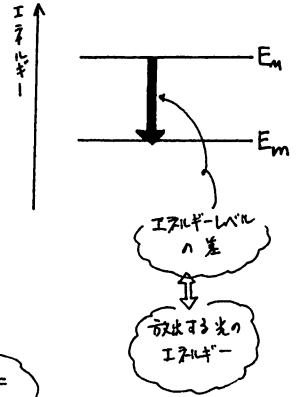
正負の計算!

または、(7) の結果を用いて ② から

E を求めてもよい。(ここの方が早い)

7  $\boxed{5.31 \times 10^{-11}}$

サ  $\boxed{-13.6}$



原子物理の演習問題 — 3 — の解答 (4の2)

③ 条件は.

$$400 \times 10^{-9} \leq \lambda \leq 800 \times 10^{-9} \dots\dots ⑦$$

この範囲の  $\lambda$  のうちで 実在するものがあるか? というの

(1) の式

$$\frac{1}{\lambda} = R \left| \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right|$$

ここで正の整数  $m$  や  $n$  が存在する

というわけで  
 $\frac{1}{\lambda}$  にして様子を見よう!

⑦式の逆2乗数Eをとり.

$$0.125 \times 10^7 \leq \frac{1}{\lambda} \leq 0.250 \times 10^7 \dots\dots ⑧$$

よって (1) の式  $\frac{1}{\lambda} = 1.10 \times 10^7 \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$  から.

$$0.125 \leq 1.10 \times \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \leq 0.250$$

$$0.1136 \leq \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \leq 0.2273$$

または 似たやつぶらして (数Iの問題!)

i)  $m=1$  のとき  $m < n$       iii)  $m \geq 3$  のとき  $m < n$

- ii)  $m=2$  のとき
- $m=3 \dots \rightarrow \lambda = 655 \times 10^{-9} \text{ m}$
  - $m=4 \dots \rightarrow 485 \times 10^{-9} \text{ m}$
  - $m=5 \dots \rightarrow 433 \times 10^{-9} \text{ m}$
  - $m=6 \dots \rightarrow 409 \times 10^{-9} \text{ m}$

← 2の4つが  
答!!

原子物理の演習問題 — 4 — の解答

4

⊕ → ⊖ 極板に近づくときの

$$(1) 0 - \frac{1}{2} m v_1^2 = -e V_1$$

運動エネルギーに(減)

静電エネルギーに(増)  
位置エネルギー(増)

$U_E = W = eV$   
∴ 電子の  $q = -e$

$$\therefore v_1 = \sqrt{\frac{2eV_1}{m}} \dots (1)$$

∴ 波長

$$\lambda = \frac{h}{mv} \text{ (式)}$$

$$\lambda = \frac{h}{m v_1} = \frac{h}{m \sqrt{\frac{2eV_1}{m}}} = \frac{h}{\sqrt{2eV_1 m}} \dots (2)$$

$$(2) \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 = -e \times \frac{V_1}{2}$$

$$\therefore v_2^2 = v_1^2 - \frac{eV_1}{m} \dots (3)$$

$$\textcircled{1} \text{より } v_1^2 = \frac{2eV_1}{m}$$

$$\therefore \frac{eV_1}{m} = \frac{v_1^2}{2}$$

∴ 式 (3) に代入して

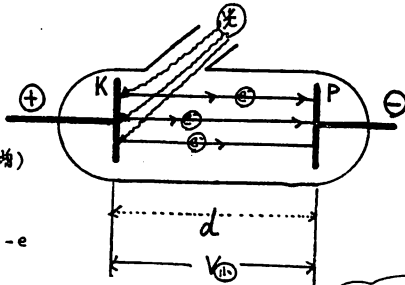
$$v_2^2 = v_1^2 - \frac{v_1^2}{2} = \frac{v_1^2}{2}$$

$v_1, v_2 > 0$  ならば

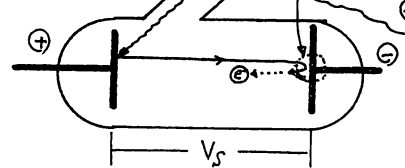
$$v_2 = \frac{v_1}{\sqrt{2}} = 0.71 v_1$$

0.71 倍 (答)

(電圧  $V_0$  の小)



$V = V_S$   
(阻止電圧)

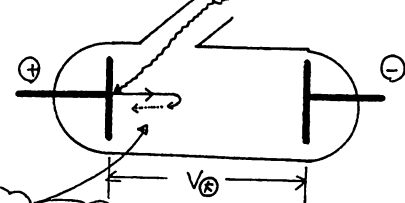


極板に達する直前に

運動エネルギー = 0 になる

⊕ の極板へ  
向きを逆にして  
みよう!

$V$  が大



⊕ 極板から  
たけまきとれてすぐに  
運動エネルギー = 0 になる  
ならば ⊕ の極板へ  
向きを逆にして  
みよう!!

電子を金属から引きはくすのに  
必要の仕事

$$(3) h\nu_0 - W = 0 \quad \therefore W = h\nu_0 \dots (3)$$

$$eV_1 = h\nu_1 - W \dots (4) \quad \left( \begin{array}{l} \frac{1}{2} m v_1^2 = h\nu_1 - W \\ \text{∴ 式 (1) の 最初一式} \\ 0 - \frac{1}{2} m v_1^2 = -eV_1 \text{ とお} \end{array} \right)$$

②, ④ から

$$eV_1 = h\nu_1 - h\nu_0 \dots (5)$$

また、別の金属では、電子をたけまきするのに  
必要の仕事  $W'$  は

$$0 = h(\nu_0 + \Delta\nu) - W' \text{ より } W' = h(\nu_0 + \Delta\nu) \dots (6)$$

⑤ と ④ に代入

$$W' = h\nu_0 + h\Delta\nu = h\nu_1 - eV_1 + h\Delta\nu \\ = h(\nu_1 + \Delta\nu) - eV_1$$

$$\textcircled{6} \quad W' = h(\nu_1 + \Delta\nu) - eV_1 \text{ (仕事関数)}$$

$$(4) \quad f = \frac{n_e}{n_p} \quad V_1 \text{ に 対応して } f_1$$

$$m_p = \frac{W_1}{h\nu_1}, \quad m_e = \frac{I_1}{e} \text{ (総和)}$$

∴ なるより

$$f_1 = \frac{m_e}{m_p} = \frac{\frac{I_1}{e}}{\frac{W_1}{h\nu_1}} = \frac{I_1 h\nu_1}{eW_1}$$

$$\therefore I_1 = \frac{f_1 e W_1}{h\nu_1} \text{ (答)}$$

[5] **解答** (1)  $\alpha$ 線 (2) ヘリウムの原子核 (3) 放物 (4)  $\frac{qV}{d}$

(2)  $\sqrt{\frac{2E}{m}}$  (3)  $\frac{qVt}{md}$  (4)  $\ell\sqrt{\frac{m}{2E}}$  (5)  $\frac{qV\ell^2}{4dE}$  (6)  $\frac{qV\ell}{2dE}$  (7)  $\frac{n}{3}$

◆解法◆

極板間の電界は  $y$  軸の正の向きに向かう。

放射線粒子は、電界と同じ向きに力を受けて軌道が曲がっているから、正電気をもつことがわかり ( $q > 0$ )、この放射線は  $\alpha$  線であることがわかる。放射された直後の粒子の速さを  $v_0$  [m/s] とすると

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = E$$

$$\therefore v_0 = \sqrt{\frac{2E}{m}} \text{ [m/s]} \quad (x \text{ 軸方向})$$

極板間の電界の強さは  $\frac{V}{d}$  であり、粒子がこの電界から受ける力の大きさは

$$F = q \times \frac{V}{d}$$

であるから、 $y$  軸方向の加速度を  $a$  とすると

$$ma = F$$

$$\therefore a = \frac{F}{m} = \frac{qV}{md} \quad (\text{一定})$$

また、 $x$  軸方向には力を受けないから、粒子は  $x$  軸方向には等速度運動、 $y$  軸方向には等加速度直線運動を行い、極板間では放物運動を行うことになる。

極板間での粒子の速度は

$$v_x = v_0 = \sqrt{\frac{2E}{m}} \text{ [m/s]}, \quad v_y = at = \frac{qVt}{md} \text{ [m/s]}$$

極板間を抜け出るとき、 $t = t_0$  で  $x = \ell$  であるから

$$v_0 t_0 = \ell \quad \therefore t_0 = \frac{\ell}{v_0} = \ell \sqrt{\frac{m}{2E}} \text{ [s]}$$

$$\therefore y_0 = \frac{1}{2}at_0^2 = \frac{1}{2} \times \frac{qV}{md} \times \ell^2 \frac{m}{2E} = \frac{qV\ell^2}{4dE} \text{ [m]}$$

極板間を抜け出た後の粒子は、 $x$  軸方向には  $V_x = v_0$ 、 $y$  軸方向には  $V_y = at_0$  の速度で等速直線運動を行うから

$$\frac{h - y_0}{L} = \frac{V_y}{V_x} = \frac{at_0}{v_0} = \frac{a\ell}{v_0} = \frac{a\ell}{v_0^2} = \frac{\frac{qV}{md}\ell}{\frac{2E}{m}} = \frac{qV\ell}{2dE}$$

となり、 $y_0$  は  $h$  に比べて十分小さいとして  $y_0$  を無視すると

$$\frac{h}{L} = \frac{qV\ell}{2dE}$$

放射性物質 R の半減期を  $T$  とすると

$$N\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{n}{T}} = \frac{1}{8}N = N \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^3 \quad \therefore \frac{n}{T} = 3 \quad \therefore T = \frac{n}{3} \text{ [日]}$$

◆解説◆

〈荷電粒子の平行極板間電界中での運動、半減期〉天然の放射性原子から出る放射線には、 $\alpha$  線 (ヘリウムの原子核  ${}^4\text{He}^{2+}$  の流れ)、 $\beta$  線 (高速の電子線)、 $\gamma$  線 (波長の短い電磁波) の 3 種類があり、電界や磁界によって、 $\alpha$  線と  $\beta$  線は互いに反対向きに曲がり、 $\gamma$  線は曲がらない。電界は電位の高い極板 A' から低い極板 A に向かい、間隔  $d$  が  $\ell$  に比べて十分に小さければ極板間の電界は一樣とみなせる。極板間での粒子の運動は水平投射と同様になり、放物線軌道を描くことになる。(3) は放物運動でも等加速度運動でもよいだろう。(2)~(5) についても水平投射と同様に考えればよい。極板間を抜け出たあとは、 $x$  軸方向にも  $y$  軸方向にも、極板間を出るときの速度  $V_x$ 、 $V_y$  で等速度運動をするから、進む距離の比  $\frac{h - y_0}{L}$  は速度の比となる。

$$\text{なお、} h = \frac{q\ell L}{2E} \cdot \frac{V}{d} \left( \text{近似しなければ } h = y_0 + \frac{q\ell L}{2E} \cdot \frac{V}{d} = \frac{q\ell(\ell + 2L)}{4E} \right)$$

となり、電界がない場合の到達点からのずれ  $h$  は、極板間の電界の強さ  $\frac{V}{d}$  に比例することになる。また、 $y$  軸方向に電界の代わりに磁束密度  $B$  の磁界をかけると、磁界中ではローレンツ力により等速円運動を行い、荷電粒子の到達点は紙面に垂直な方向にずれるが、そのずれは近似的に

$$\frac{q\ell(\ell + 2L)}{2\sqrt{2mE}} B \text{ となり、磁束密度 } B \text{ に比例する。}$$

(7) は問題文中に説明してあるとおり、放射性物質の量が  $n$  [日] 後には  $\frac{1}{8}$  になっているということであり、半減期に関する基本公式を用いればよい。



[6]

(1) 長い

(2) コンプトン効果

(3)  $\frac{hc}{\lambda}$  (または  $h\nu$ )

(4)  $\frac{h}{\lambda}$  (または  $\frac{h\nu}{c}$ )

(5)  $\frac{h}{\lambda'}$  (または  $\frac{h\nu'}{c}$ )

(6)  $\frac{hc}{\lambda'}$  (または  $h\nu'$ )

(7)  $h\nu$ 

(8)  $\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda'} + \frac{1}{2} h\nu^2$  (または  $h\nu = h\nu' + \frac{1}{2} h\nu^2$ )

(9)  $\frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda'} \cos\Phi + h\nu \cos\theta$  (または  $\frac{h\nu}{c} = \frac{h\nu'}{c} \cos\Phi + h\nu \cos\theta$ )

(10)  $0 = \frac{h}{\lambda'} \sin\Phi - h\nu \sin\theta$  (または  $0 = \frac{h\nu'}{c} \sin\Phi - h\nu \sin\theta$ )

(11)  $\Delta\lambda = \frac{h}{mc} = \frac{6.66 \times 10^{-34}}{9.11 \times 10^{-31} \times 3.00 \times 10^8} = 2.44 \times 10^{-12} [\text{m}]$

(12)  $\lambda = 1.90 \times 10^{-11} + 2.44 \times 10^{-12} = 2.14 \times 10^{-11} [\text{m}]$

原子物理の演習問題 - 7 - の解答

◇ 7 (1) ゆくり動のときの外力のする仕事 ← 必要な仕事  
 ||  
位置エネルギーの増加分

必要な仕事  $W$  は、

$$W = \left(-k \frac{e^2}{r+s}\right) - \left(-k \frac{e^2}{r}\right) = k e^2 \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r+s}\right)$$

$$= \frac{k e^2 s}{r(r+s)} \quad \text{③}$$

また、 $W = f \cdot s$  だから

静電引力  $f = \frac{W}{s} = \frac{k e^2}{r(r+s)} \dots \text{④}$

∴ 問題文の「等しい」に注目!!

※ ∴  $k$  の法則  $f = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$  の形に合わせるためらしい。

④ 式で

$r \gg s$  より  $r+s \approx r$  と近似すれば

$$f = k \frac{e^2}{r^2} \quad \text{と} \quad \text{⑤}$$

(2) 円周の電子波の波長  $\lambda$  の整数倍でなければならぬ。

半径を  $r$  とすると、

$$2\pi r = m \lambda \quad \dots \text{⑥}$$

∴  $\lambda = \frac{h}{m v}$  だから ⑥より

$$2\pi r = \frac{m h}{m v} \quad \text{⑦}$$

(3) 全エネルギー  $E$  は  $E = -\frac{k e^2}{r} + \frac{1}{2} m v^2$  である。 ∴ ③

条件 ∴  $\therefore$  円運動の向心力 = 重力 =  $\therefore$   $m \frac{v^2}{r} = k \frac{e^2}{r^2}$

条件  
 $r$  や  $v$  は  
 ぶらぶら  
 $\therefore$   $\therefore$   $\therefore$   $\therefore$   
 $r$  と  $v$  消去

$$\therefore m v^2 = \frac{k e^2}{r} \quad \text{⑧}$$

$$E = -\frac{k e^2}{r} + \frac{k e^2}{2r} = -\frac{k e^2}{2r} \quad \dots \text{④}$$

また、(2)より

$$v = \frac{m h}{2\pi r m} \quad \therefore m v^2 = \frac{k e^2}{r} \quad \text{⑧} \quad \text{⑧に代入して } v \text{ を消して } r \text{ を求めよ}$$

$$m \left(\frac{m h}{2\pi r m}\right)^2 = \frac{k e^2}{r}$$

$$\therefore r = \frac{m^2 h^2}{4\pi^2 m k e^2} \quad \dots \text{⑤}$$

⑤を④に代入して  $r$  を消去

$$E = -\frac{k e^2}{\frac{m^2 h^2}{4\pi^2 m k e^2}} \cdot \frac{1}{r} = -\frac{k e^2}{\frac{m^2 h^2}{4\pi^2 m k e^2}} \cdot \frac{4\pi^2 m k e^2}{m^2 h^2} = -\frac{2\pi^2 m k^2 e^4}{h^2} \cdot \frac{1}{m^2}$$

$$\therefore E_n = \frac{L}{m^2} \quad \text{と} \quad \text{⑥から}$$

$$L = \frac{-2\pi^2 m k^2 e^4}{h^2} \quad \text{⑧}$$

(4) 原子と光の衝突

↓  
 運動量保存の式

$$\frac{h f}{c} + 0 = M V$$

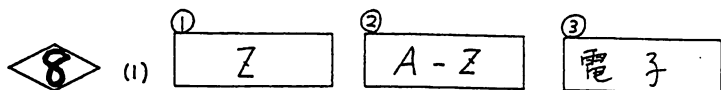
$$\text{⑧} \quad \frac{h f}{c} = M V$$

光子の運動量  $p$  ( $\lambda = \frac{c}{\nu}$ )  
 $\lambda = \frac{c}{\nu}$   
 $\therefore f \lambda = c$  より  $\lambda = \frac{c}{f}$  →  $p = \frac{h f}{c}$

(5) エネルギー保存の式は、 $E_1 + 0 + h f = E_2 + \frac{1}{2} M V^2$

よって ⑧  $h f = (E_2 - E_1) + \frac{1}{2} M V^2$

原子物理の演習問題 — 8 — の解答



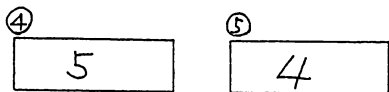
${}^4_2\text{He}$  α崩壊  $\left\{ \begin{array}{l} \text{陽子数 (電数)} \quad 2 \\ \text{質量数} \quad 4 \end{array} \right\}$  減少  $\Rightarrow$  X回

${}^0_{-1}\text{e}$  β崩壊  $\left\{ \begin{array}{l} \text{陽子数 (電数)} \quad -1 \\ \text{質量数} \quad 0 \end{array} \right\}$  減少  $\Rightarrow$  Y回

${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb}$  : 質量数から  $226 - 4X = 206 \dots \textcircled{1}$

電数 (陽子数) から  $88 - 2X + Y = 82 \dots \textcircled{2}$

①, ②より  
 $X = 5, Y = 4$



(2)  $E = h\nu$  }  $E = \frac{Ch}{\lambda}$       ⑥  $\frac{Ch}{\lambda}$       ⑦  $\frac{h}{\lambda}$

$C = \nu\lambda$  }  
 $\lambda = \frac{h}{p} \rightarrow p = \frac{h}{\lambda}$

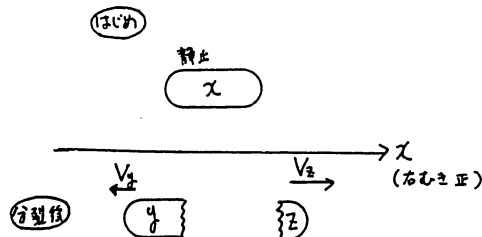
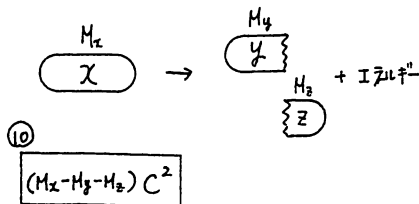
$\lambda = \frac{h}{mv}$       ⑧  $\frac{h}{Mv}$

(3)  $E = mc^2$       ⑨ 質量

$M_X > M_Y + M_Z$  とき

$\Delta M = M_X - (M_Y + M_Z)$

$\therefore E = \{M_X - (M_Y + M_Z)\} c^2$



分裂  $\Rightarrow$  運動量保存

$0 = M_Y(-V_Y) + M_Z V_Z$

$\therefore \frac{V_Y}{V_Z} = \frac{M_Z}{M_Y} \dots \dots \textcircled{7}$

⑪  $\frac{M_Z}{M_Y}$

エネルギー保存の式 (質量エネルギー = 運動エネルギー)

$M_X c^2 = \frac{1}{2} M_Y V_Y^2 + \frac{1}{2} M_Z V_Z^2 + (M_Y + M_Z) c^2$

より

$\frac{1}{2} M_Y V_Y^2 = (M_X - M_Y - M_Z) c^2 - \frac{1}{2} M_Z V_Z^2$

$\therefore \textcircled{7}$ より  $V_Z = \frac{M_Y}{M_Z} V_Y$  と代入して

$\frac{1}{2} M_Y V_Y^2 = (M_X - M_Y - M_Z) c^2 - \frac{1}{2} M_Z \left(\frac{M_Y}{M_Z} V_Y\right)^2$

$\frac{1}{2} M_Y V_Y^2 \left(1 + \frac{M_Z}{M_Y}\right) = (M_X - M_Y - M_Z) c^2$

$\frac{1}{2} M_Y V_Y^2 = \frac{M_Z}{M_Y + M_Z} (M_X - M_Y - M_Z) c^2$

⑫  $\frac{M_Z (M_X - M_Y - M_Z) c^2}{M_Y + M_Z}$